

Гогаєва О. К., д-р мед. наук, провідний науковий співробітник відділу хірургічного лікування ішемічної хвороби серця, <https://orcid.org/0000-0002-7338-475X>

Дзахоєва Л. С., канд. мед. наук, <https://orcid.org/0000-0002-2943-8810>

ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова НАМН України», м. Київ, Україна

## Можливості тредміл-тесту в сучасній кардіологічній практиці

**Резюме.** Багато публікацій останніх років присвячені пошуку найкращого методу попередньої діагностики ішемічної хвороби серця (ІХС), де визначальним фактором є доступність технології та досвід персоналу. Згідно з даними Національного реєстру Американського коледжу кардіологів, у 58,4 % пацієнтів, направлених на коронарографію, після функціонального тестування не зафіксовано значних стенозів коронарних артерій. Відповідно до Європейських рекомендацій з діагностики та ведення пацієнтів з хронічним коронарним синдромом необхідно використовувати візуалізаційне діагностичне обстеження замість електрокардіографії (ЕКГ) з фізичним навантаженням для діагностики обструктивної ІХС.

**Мета** – проаналізувати можливості ЕКГ з фізичним навантаженням у сучасній кардіологічній практиці.

**Матеріали та методи.** Тредміл-тест проведено 406 пацієнтам, серед яких 317 (78,07 %) чоловіків, 89 (21,9 %) жінок, середній вік становив  $44,7 \pm 17,3$  року. Пробу проводили за протоколом Bruce на ергометричній біговій доріжці Valiant.

**Результати.** Пацієнти були розподілені на групи залежно від напрямку діагностичного пошуку: 1. Верифікація ІХС при кардіалгії ( $n = 184$ ). 2. Оцінювання результату кардіохірургічного втручання у віддаленому періоді ( $n = 74$ ). 3. Візуалізація ішемії міокарда при пограничних стенозах вінцевих артерій ( $n = 4$ ). 4. Скринінг за наявності додаткових факторів ризику ІХС ( $n = 49$ ). 5. При порушеннях ритму серця з метою вирішення подальшої тактики лікування та оцінювання ефективності антиаритмічної терапії ( $n = 34$ ). 6. Оцінювання вінцевого русла у пацієнтів із вродженими вадами серця ( $n = 7$ ). 7. Визначення толерантності до фізичного навантаження ( $n = 54$ ). Серед обстежених пацієнтів у 48 (11,8 %) відзначено позитивний тредміл-тест, у 246 (60,5 %) – негативний, у 112 (27,5 %) – сумнівний. Серед 48 пацієнтів з позитивним тредміл-тестом реваскуляризацію міокарда виконали у 41 (85,4 %) випадку.

**Висновки.** ЕКГ з фізичним навантаженням є доступним інструментом діагностичного пошуку, який при якісному виконанні та інтерпретації може бути альтернативою сучасним візуалізаційним методикам.

**Ключові слова:** хронічний коронарний синдром, ЕКГ з навантаженням, передтестова вірогідність, комп'ютерна томографія, неінвазивна візуалізація, коронарографія, реваскуляризація міокарда.

**Вступ.** Багато публікацій останніх років присвячені пошуку найкращого методу попередньої діагностики ішемічної хвороби серця (ІХС) на підставі сучасних рекомендацій, де визначальним фактором є доступність технології та досвід персоналу. Згідно з даними Національного реєстру Американського коледжу кардіологів, у 58,4 % пацієнтів, направлених на коронарографію, після функціонального тестування (стрес-ЕКГ, стрес-ЕхоКГ, стрес-МРТ та комп'ютерна томографія) не зафіксовано значних стенозів коронарних артерій [1, 2, 3, 4, 5]. Поява сучасних методів візуалізації змінила відношення до електрокардіографії (ЕКГ) та проби з фізичним на-

вантаженням. Європейські настанови з діагностики та ведення пацієнтів з хронічним коронарним синдромом за 2019 рік рекомендують використовувати візуалізаційне діагностичне обстеження замість ЕКГ з фізичним навантаженням для діагностики обструктивної ІХС [6]. ЕКГ з фізичним навантаженням рекомендується для оцінювання толерантності до фізичного навантаження, аритмії, реакції артеріального тиску та ризику ускладнень у пацієнтів (клас доказовості I, рівень доказовості C), для оцінювання контролю симптомів та ішемії на тлі лікування (IIb, C) та як альтернативне обстеження за недоступності неінвазивної візуалізації (IIb, B). Тредміл-тест не рекомендується для проведення діагностики у пацієнтів з депресією сегмента ST  $\geq 0,1$  мВ на ЕКГ у стані спокою чи у пацієнтів, які приймають препарати наперстянки (III, C) [6, 7, 8].

Американська асоціація серця рекомендує пацієнтам низького ризику перевіряти коронарний кальцій за шкалою Агатсон та проводити тредміл-тест, а пацієнтам середнього та високого ризику хронічного коронарного синдрому – комп'ютерну томографію коронарних артерій або стрес-тест з візуалізацією, включаючи фракційний резерв при комп'ютерній томографії коронарних артерій (FFR-CT, fractional flow reserve computed tomography). Коронарографія показана пацієнтам з документованою ішемією міокарда та в разі продовження симптомів, незважаючи на оптимізовану медикаментозну терапію, FFR-CT  $\leq 0,8$  або анатомічно високого ризику за даними комп'ютерної томографії коронарних артерій [9].

Як в американських, так і європейських настановах зазначено, що ЕКГ з навантаженням важлива для оцінювання функціональних можливостей, симптомів та прогнозу. Тредміл-тест може виключити ІХС у пацієнтів з низькою передтестовою вірогідністю ІХС, проте великою проблемою при навантаженні залишаються хибнопозитивні результати, що призводять до непотрібного подальшого тестування. Водночас сучасні методи візуалізації, такі як FFR-CT або кількісне оцінювання кровотоку (позитронно-емісійна, магнітно-резонансна томографія) є менш доступними та дороговартісними. Важливим моментом є рівень знань з інтерпретації даних, тому необхідний досвід та ресурси, щоб уникнути непотрібних тестувань і затримок в оцінюванні симптоматичних пацієнтів [10].

**Мета** – проаналізувати можливості ЕКГ з фізичним навантаженням у сучасній кардіологічній практиці.

**Матеріали та методи.** Тредміл-тест проведено 406 пацієнтам, серед яких 317 (78,07 %) чоловіків, 89 (21,9 %) жінок. Середній вік становив  $44,7 \pm 17,3$  року. Пробу проводили за протоколом Bruce на ергометричній біговій доріжці Valiant.

**Результати.** Пацієнти були розподілені на групи залежно від напрямку діагностичного пошуку.

**Група I.** З метою верифікації ІХС при кардіалгії тредміл-тест було проведено 184 (45,3 %) пацієнтам, середній вік яких становив  $47,3 \pm 12,5$  року. Серед них було 145 (78,8 %) чоловіків, 39 (21,2 %) жінок.

Позитивна проба виявлена у 20 (10,9 %) пацієнтів (середній вік  $57,1 \pm 9,5$  року) з виникненням депресії сегмента ST, що супроводжувався виникненням нападу стенокардії у 6 (30 %) випадках, задишки – у 3 (15 %), шлуночкової екстрасистолії – у 2 (10 %), гіпотензії – в 1 (5 %) та повної блокади лівої ніжки пучка Гіса – в 1 (5 %) пацієнта. Реваскуляризація міокарда проведена 18 (90 %) пацієнтам з позитивним тредміл-тестом. Аналіз показників гемодинаміки до та після навантаження наведено в таблиці 1.

Серед пацієнтів з кардіалгією сумнівна проба діагностована у 67 (36,4 %) випадках, серед яких гіпертонічний тип реакції на навантаження зафіксований у

**Таблиця 1**

Показники артеріального тиску та пульсу в пацієнтів з кардіалгією до та після проведення тредміл-тесту ( $n = 184$ )

Показник	Середній показник перед навантаженням	Середній показник після навантаження	p
ЧСС	$79,8 \pm 10,9$	$136,4 \pm 30,7$	$< 0,0001$
САТ	$128,3 \pm 18,1$	$171,8 \pm 27,5$	$< 0,0001$
ДАТ	$85,6 \pm 11,1$	$87,9 \pm 16,5$	0,1175

*Примітка.* ЧСС – частота серцевих скорочень, САТ – систолічний артеріальний тиск, ДАТ – діастолічний артеріальний тиск.

44 (65,6 %) осіб; негативна проба – у 97 (52,7 %), серед яких у 55 (56,7 %) виявлено гіпертонічний тип реакції на навантаження.

**Група II.** Оцінювання результату кардіохірургічного втручання у віддаленому періоді та визначення необхідності коронарографії проводили 74 (18,2 %) пацієнтам, середній вік яких становив  $60,2 \pm 9,04$  року. У групі переважали пацієнти чоловічої статі – 62 (83,7 %). Аналіз тредміл-тесту 56 (75,6 %) пацієнтів у віддаленому періоді після стентування вінцевих артерій показав позитивну пробу у 20 (35,7 %) випадках, серед яких у 16 (80 %) виконали повторну реваскуляризацію міокарда. Негативна проба з високою толерантністю до фізичного навантаження виявлена у 15 (26,7 %) випадках, сумнівна проба – у 21 (37,5 %) пацієнта, серед яких 10 (47,7 %) мали гіпертонічний тип реакції на навантаження. Тредміл-тест виконали 13 (17,5 %) пацієнтам після коронарного шунтування, серед яких негативна проба діагностована у 6 (46,1 %) випадках, сумнівна – у 4 (30,7 %), позитивна – у 3 (23,07 %), з них 2 (66,6 %) пацієнтам виконали стентування вінцевих артерій. У віддаленому періоді після пластики/протезування клапанів серця 5 (6,7 %) пацієнтів пройшли пробу з фізичним навантаженням, серед яких у 4 (80 %) відзначали негативну пробу, в 1 (20 %) – позитивну, якому було проведено ендпротезування вінцевої артерії зі стентом.

**Група III.** З метою візуалізації ішемії та визначення необхідності реваскуляризації міокарда тредміл-тест було виконано 4 (0,98 %) пацієнтам з пограничними ураженнями вінцевих артерій за даними коронарографії. Середній вік пацієнтів становив  $58,7 \pm 8,05$  року. Високу толерантність до фізичного навантаження діагностовано в 3 (75 %) випадках, низьку – в 1 (25 %), де проба розцінена як сумнівна у зв'язку з появою задишки на тлі підвищення артеріального тиску до 220/140 мм рт. ст. на третьому ступені навантаження. Пацієнту в подальшому було виконано стентування огинаючої гілки лівої коронарної артерії.

**Група IV.** Скринінг за наявності додаткових факторів ризику ІХС проводили 49 (12,06 %) пацієнтам, середній вік яких сягав  $43,3 \pm 16,3$  року. Пробу з фізичним навантаженням виконували з метою виключення ІХС через наявність декількох факторів ризику, таких як гіпертонічна хвороба, дисліпідемія, обтяжена спадковість, куріння, цукровий діабет, ожиріння тощо. Позитивна проба виявилась у 3 (6,1 %) пацієнтів, яким проведена ревазуляризація міокарда. Сумнівна проба розцінена у 12 (24,5 %) пацієнтів, серед яких у 7 (58,3 %) були запідозрені інтрамуральний хід передньої міжшлуночкової гілки лівої коронарної артерії та підвищена звивистість вінцевих артерій, які були підтверджені під час комп'ютерної томографії вінцевих артерій у 6 (85,7 %) пацієнтів.

**Група V.** Пацієнтам з порушеннями ритму серця ( $n = 34$  (8,3 %)), а саме: з WPW-синдромом, шлуночковою екстрасистолією, шлуночковою тахікардією, фібриляцією/тріпотінням передсердь, синдромом Бругада, проводили пробу з фізичним навантаженням з метою вирішення подальшої тактики лікування та оцінювання ефективності антиаритмічної терапії. Середній вік пацієнтів становив  $31,4 \pm 21,2$  року. У 30 (88,2 %) випадках проба виявилась негативною й відзначено ефективність обраної антиаритмічної терапії, у 4 (11,7 %) пацієнтів проба розцінена як сумнівна, пацієнти були направлені на подальше електрофізіологічне дослідження.

**Група VI.** Оцінювання вінцевого русла й толерантності до фізичного навантаження проводили 7 (1,7 %) пацієнтам із вродженими вадами серця після ендovasкулярного закриття коронаро-легеневої норичі,

дефекту міжпередсердної перегородки, відкритого овального вікна, а також некоригованим дефектом міжпередсердної перегородки, аномальним відходженням лівої коронарної артерії. Серед пацієнтів дослідної групи лише в одному випадку проба виявилась позитивною при коронаро-легеневої норичі.

**Група VII.** Для визначення толерантності до фізичного навантаження було обстежено 54 (13,3 %) особи, серед яких 24 (5,9 %) – професійні спортсмени в середньому віці  $22,5 \pm 9,9$  року. Тестування проходили футболісти, плавці, хокеїсти, бодібіддери, борці, боксери та легкоатлети. У 21 (87,5 %) спортсмена виявлено високу толерантність до фізичного навантаження, гіпертонічний тип реакції на навантаження діагностовано у 3 (12,5 %) випадках. На висоті навантаження футболіста С., 24 років, виникли дрібновогнищеві зміни перегородкової ділянки лівого шлуночка, при проведенні комп'ютерної томографічної ангіографії коронарних артерій виявлено інтрамуральний хід передньої міжшлуночкової гілки лівої коронарної артерії. Серед 30 здорових осіб, які проходили тредміл-тест з метою оцінювання можливостей організму, у 2 (6,6 %) випадках проба розцінена як сумнівна, більшість досліджуваних показали високу толерантність до фізичного навантаження, а проба виявилась негативною.

Узагальнені результати тредміл-тесту представлені в таблиці 2.

Серед обстежених пацієнтів у 48 (11,8 %) відзначено позитивний тредміл-тест, у 246 (60,5 %) – негативний, у 112 (27,5 %) – сумнівний. Серед 48 пацієнтів з позитивним тредміл-тестом ревазуляризацію міокарда виконали у 41 (85,4 %) випадку. Пацієнти із

**Таблиця 2**

*Результати тредміл-тесту (n = 406)*

Мета дослідження	n (%)	Позитивна проба	Негативна проба	Сумнівна проба
Верифікація ІХС при кардіалгії	184 (45,3 %)	20 (10,9 %)	97 (52,7 %)	67 (36,4 %)
Оцінювання результату кардіохірургічного втручання у віддаленому періоді	74 (18,2 %)	24 (32,4 %)	25 (33,8 %)	25 (33,8 %)
Візуалізація ішемії міокарда при пограничних стенозах вінцевих артерій	4 (0,98 %)	0 (0 %)	3 (75 %)	1 (25 %)
Скринінг за наявності додаткових факторів ризику ІХС	49 (12,06 %)	3 (6,1 %)	34 (69,4 %)	12 (24,5 %)
При порушеннях ритму серця з метою вирішення подальшої тактики лікування та оцінювання ефективності антиаритмічної терапії	34 (8,3 %)	0 (0 %)	30 (88,2 %)	4 (11,7 %)
Оцінювання вінцевого русла у пацієнтів із вродженими вадами серця	7 (1,7 %)	1 (14,2 %)	6 (85,8 %)	0 (0 %)
Визначення толерантності до фізичного навантаження	54 (13,3 %)	0 (0 %)	51 (94,5 %)	3 (5,5 %)
Усього	406 (100 %)	48 (11,8 %)	246 (60,5 %)	112 (27,5 %)

сумнівними результатами проби з фізичним навантаженням отримали рекомендації з оптимізованої медикаментозної терапії та направлені на подальші обстеження.

**Обговорення.** Стрімкий розвиток медичної галузі з удосконаленням візуалізаційних методів діагностики та залучення у процес штучного інтелекту й робототехніки посунали позиції «рутинних» методів функціональної діагностики. Залучення молодих спеціалістів до більш сучасних та прогресивних методів дослідження з можливістю швидко візуалізувати гіпокінезію певної ділянки міокарда при ехокардіографічному дослідженні, верифікувати стенотичне звуження вінцевої артерії за допомогою комп'ютерної томографії, дещо знецінило метод електрокардіографії. Незважаючи на доступність та дешевизну методу ЕКГ якісна інтерпретація та розуміння фізіологічних процесів у міокарді може відповісти на багато запитань лікаря. Оцінювання ЕКГ з фізичним навантаженням досвідченим фахівцем може зекономити кошти та спростити діагностичний маршрут пацієнта.

На підставі аналізу тредміл-тесту, проведеного 406 особам, встановлено високу результативність ЕКГ з фізичним навантаженням для відбору пацієнтів на реваскуляризацію міокарда: серед 48 пацієнтів з позитивною пробюю – 41 (85,4 %) отримали своєчасне кардіохірургічне лікування. Вдалось уникнути проведення зайвих обстежень у 246 (60,5 %) пацієнтів з негативним тредміл-тестом. Розподіл пацієнтів на групи залежно від мети дослідження, дав змогу дещо розширити можливості функціональної проби з фізичним навантаженням не тільки для діагностики ІХС, а й у багатьох напрямках сучасної кардіології.

**Висновки.** ЕКГ з фізичним навантаженням є доступним інструментом діагностичного пошуку, який за умови якісного виконання та інтерпретації може бути альтернативою сучасним візуалізаційним методам.

#### Список використаних джерел

#### References

- Genders TS, Petersen SE, Pugliese F, Dastidar AG, Fleischmann KE, Nieman K, et al. The Optimal Imaging Strategy for Patients With Stable Chest Pain: A Cost-Effectiveness Analysis. *Ann Intern Med.* 2015;162(7):474-484. <https://doi.org/10.7326/M14-0027>
- Michos ED, Greenland P. Coronary Computed Tomography Angiography in Stable Chest Pain to Prevent Myocardial Infarction and Reduce Costs-Seeing Is Believing. *JAMA Netw Open.* 2020;3(12):e2030996. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.30996>
- Berry C, Kramer CM, Kunadian V, Patel TR, Villines T, Kwong RY, et al. Great Debate: Computed tomography coronary angiography should be the initial diagnostic test in suspected angina. *Eur Heart J.* 2023;44(26):2366-2375. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac597>
- Dzakhoeva LS, Gogayeva OK, Rudenko AV, Lazoryshynets VV. [The value of perioperative ECG in patients with complicated forms of coronary artery disease]. *Zaporozhye medical journal.* 2021;23(1):11-16. Ukrainian. <https://doi.org/10.14739/2310-1210.2021.1.224977>
- Patel MR, Dai D, Hernandez AF, Douglas PS, Messenger J, Garratt KN, et al. Prevalence and predictors of nonobstructive coronary artery disease identified with coronary angiography in contemporary clinical practice. *Am Heart J.* 2014;167(6):846-852.e2. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2014.03.001>
- Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C, et al.; ESC Scientific Document Group. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes: The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J.* 2020;41(3):407-477. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425>
- Knuuti J, Ballo H, Juarez-Orozco LE, Saraste A, Kolh P, Rutjes AWS, et al. The performance of non-invasive tests to rule-in and rule-out significant coronary artery stenosis in patients with stable angina: a meta-analysis focused on post-test disease probability. *Eur Heart J.* 2018;39(35):3322-3330. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy267>
- Shaw LJ, Mieres JH, Hendel RH, Boden WE, Gulati M, Vedlar E, et al.; WOMEN Trial Investigators. Comparative Effectiveness of Exercise Electrocardiography With or Without Myocardial Perfusion Single Photon Emission Computed Tomography in Women With Suspected Coronary Artery Disease: Results From the What Is the Optimal Method for Ischemia Evaluation in Women (WOMEN) trial. *Circulation.* 2011;124(11):1239-1249. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.111.029660>
- Riley RF, Batchelor WB, Goldstein JA, Al-Lamee R, Shah S, Tremmel JA, et al. The 2021 AHA/ACC Guideline for the Evaluation and Diagnosis of Chest Pain: An Interventionalist's Viewpoint. *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv.* 2022;1(3):100305. <https://doi.org/10.1016/j.jscv.2022.100305>
- Blankstein R, Shaw LJ, Gulati M, Atalay MK, Bax J, Calnon DA, et al. Implications of the 2021 AHA/ACC/AHA/ASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR Chest Pain Guideline for Cardiovascular Imaging: A Multisociety Viewpoint. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2022;15(5):912-926. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.02.021>

## Capabilities of the Treadmill Test in Modern Cardiological Practice

Olena K. Gogayeva, Liudmyla S. Dzakhoieva

National Amosov Institute of Cardiovascular Surgery of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** Many publications in recent years have been dedicated to the search for the best preliminary method of diagnosing coronary artery disease (CAD), where the availability of technology and staff experience are the determining factors. According to the National Cardiovascular Data Registry of the American College of Cardiology, 58.4% of patients referred for coronary angiography after functional testing do not have significant coronary artery stenoses. European guidelines for the diagnosis and management of patients with chronic coronary syndrome recommend the use of imaging diagnostic tests instead of exercise electrocardiography for the diagnosis of obstructive CAD.

**The aim.** To analyze the capabilities of the exercise electrocardiography test for patients in modern cardiological practice.

**Materials and methods.** A treadmill test was performed on 406 patients, among whom 317 (78.07%) were men, 89 (21.9%) were women, the mean age was  $44.7 \pm 17.3$  years. The test was carried out according to the Bruce protocol on the Valiant Ergometric Treadmill.

**Results.** The patients were divided into groups depending on the area of diagnostic search: verification of CAD in cardiac pain ( $n=184$ ); evaluation of the long-term results of cardiac surgery ( $n=74$ ); visualization of myocardial ischemia in borderline stenoses of coronary arteries ( $n=4$ ); screening in the presence of additional CAD risk factors ( $n=49$ ); in the case of heart rhythm disorders in order to decide on further treatment tactics and evaluation of the effectiveness of the antiarrhythmic treatment ( $n=34$ ); evaluation of the coronary artery in patients with congenital heart defects ( $n=7$ ); determination of tolerance to physical exertion ( $n=54$ ). Among the examined patients, there were 48 (11.8%) with positive, 246 (60.5%) with negative, and 112 (27.5%) with doubtful treadmill test. Among 48 patients with a positive treadmill test, myocardial revascularization was performed in 41 (85.4%) cases.

**Conclusions.** Exercise electrocardiography is an affordable tool for diagnostic research which, with its high-quality performance and interpretation, can be an alternative to modern imaging techniques.

**Keywords:** *chronic coronary syndrome, stress electrocardiography, pretest probability, computed tomography, noninvasive imaging, coronary angiography, myocardial revascularization.*

Стаття надійшла в редакцію / Received: 31.07.2023

Після доопрацювання / Revised: 12.08.2023

Прийнято до друку / Accepted: 18.09.2023